

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-288105  
 (43)Date of publication of application : 27.10.1998

(51)Int.Cl.

F02M 37/00  
 F02D 41/40  
 // F02M 47/02

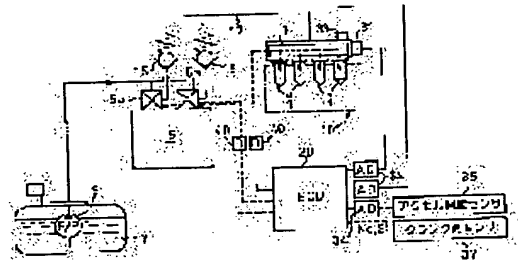
(21)Application number : 09-100305  
 (22)Date of filing : 17.04.1997

(71)Applicant : TOYOTA MOTOR CORP  
 (72)Inventor : MATSUNAGA AKIO  
 MURAKAMI GENICHI

## (54) FUEL INJECTION DEVICE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent hunting caused in fuel pressure control by a change in a bulk elastic modulus due to the variation of the fuel pressure.  
 SOLUTION: This device supplies high-pressure fuel to a common rail 3 from a high-pressure fuel injection pump 5, and to respective fuel injection valves 1 from the common rail 3. A control circuit (ECU) 20 sets fuel supply quantity to the rail 3 from the fuel pump so as to include proportional component quantity proportional to deviation between common rail fuel pressure detected by a fuel pressure sensor 31 and target fuel pressure to be set in accordance with an engine operating condition; and moreover sets a proportional factor, used for calculating a proportional component, the lower with the higher fuel pressure calculated by the sensor 31, to compensate the increase of a bulk modulus due to a fuel pressure rise, thereby preventing hunting caused in fuel pressure control at the time of high pressure.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.01.2003  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]  
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
 F 0 2 M 37/00  
 F 0 2 D 41/40  
 // F 0 2 M 47/02

識別記号

F I

F 0 2 M 37/00

C

F 0 2 D 41/40

C

F 0 2 M 47/02

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-100305

(22) 出願日 平成9年(1997)4月17日

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 松永 彰生

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72) 発明者 村上 元一

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

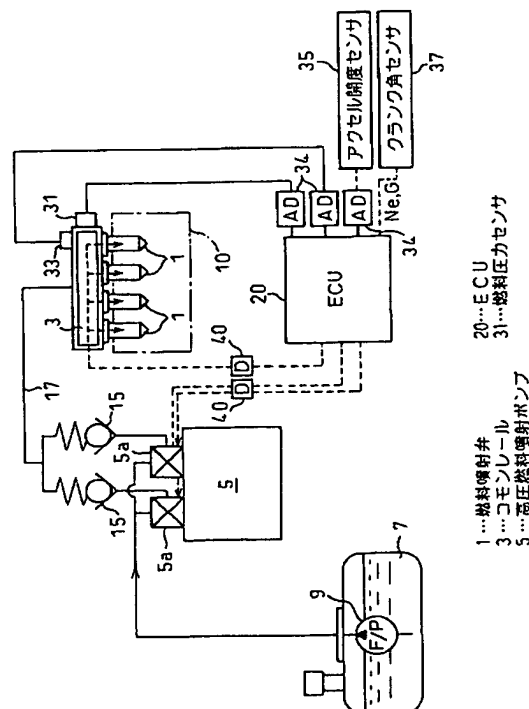
(74) 代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)

(54) 【発明の名称】 内燃機関の燃料噴射装置

(57) 【要約】

【課題】 燃料圧力変動による体積弾性係数の変化により燃料圧力制御にハンチングを生じることを防止する。

【解決手段】 高压燃料噴射ポンプ5からコモンレール3に高压燃料を供給し、コモンレールから各燃料噴射弁1に燃料を供給する。制御回路(ECU)20は、燃料圧力センサ31で検出したコモンレール燃料圧力と、機関運転状態に応じて設定される目標燃料圧力との偏差に比例する比例成分量を含むように燃料ポンプからコモンレールへの燃料供給量を設定する。さらに、ECUは燃料圧力センサで検出した燃料圧力が高いほど上記比例成分算出に用いる比例係数を小さく設定し燃料圧力上昇による体積弾性係数の増大を補償して高压時の燃料圧力制御にハンチングが生じることを防止する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 加圧燃料を貯留する蓄圧室と、該蓄圧室内の燃料を内燃機関に噴射する燃料噴射弁と、前記蓄圧室に燃料を供給する燃料ポンプと、前記蓄圧室内の実際の燃料圧力が予め定めた目標圧力になるように燃料ポンプから蓄圧室への燃料供給量を設定する制御手段とを備えた内燃機関の燃料噴射装置において、

前記制御手段は、前記燃料供給量を、蓄圧室内の実際の燃料圧力と前記目標圧力との偏差に比例係数を乗じた比例量成分を含む量として設定するとともに、前記比例係数を蓄圧室内の実際の燃料圧力に応じて変化させることを特徴とする内燃機関の燃料噴射装置。

【請求項2】 前記制御手段は、実際の燃料圧力に応じて設定した前記比例係数を、更に燃料温度、ポンプの燃料圧送能力、機関回転数のいずれか一つ以上に基づいて補正し、補正後の比例係数を用いて前記比例量成分を設定する請求項1に記載の内燃機関の燃料噴射装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は内燃機関の燃料噴射装置に関し、詳細には蓄圧室（コモンレール）内に加圧燃料を貯留し、蓄圧室に接続した燃料噴射弁から内燃機関に燃料を噴射するコモンレール式の燃料噴射装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】高圧燃料ポンプから蓄圧室（コモンレール）に燃料を供給してコモンレール内に高圧の燃料を貯留するとともに、このコモンレール内の燃料を燃料噴射弁から噴射するコモンレール式燃料噴射装置が知られている。コモンレール式燃料噴射装置では、コモンレール内燃料圧力により燃料噴射弁の噴射率が制御され、コモンレール内燃料圧力と燃料噴射弁の開弁（燃料噴射）時間との両方により燃料噴射量が制御される。

【0003】このため、コモンレール式燃料噴射装置では機関負荷状態に応じてコモンレール内燃料圧力を正確に制御することが必要となる。このようなコモンレール式燃料噴射装置の例としては、例えば特開平5-106495号公報に記載されたものがある。同公報の装置は、機関負荷条件に応じてコモンレール内目標燃料圧力を設定し、コモンレール内の実際の燃料圧力と上記目標燃料圧力との偏差に制御ゲイン（比例係数）を乗じた量の燃料を燃料ポンプからコモンレールに供給することにより、コモンレール内圧力を目標値に制御する。また、同公報の装置では上記制御ゲインを機関回転数に基づいて設定し、更に機関過渡運転時にはコモンレール内の燃料圧力の変化速度に応じて修正更新することによりコモンレール燃料圧力制御の精度を向上させている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記公報の燃料噴射装置では、制御ゲインを機関回転数に応じて設定し、更に

過渡運転時にはコモンレール燃料圧力の変化速度に応じて修正することにより過渡運転時にも正確にコモンレール燃料圧力を目標値に制御することを目的としている。

【0005】ところが、実際には上記公報のような制御を行うとコモンレール燃料圧力が高い場合には圧力制御にハンチングを生じてしまいコモンレール燃料圧力が安定しなくなる場合がある。これは、上記公報の装置では制御ゲインの値を燃料の体積弾性係数の変化とは無関係に設定しているためである。一般に、液体燃料の体積弾性係数は圧力に応じて変化し、高圧になるほど大きな値になる。また、例えば燃料ポンプからコモンレールに圧送される燃料の量を標準状態（例えば大気圧下）に換算した体積をQとすると、この量の燃料の圧送によるコモンレールの圧力上昇幅 $\Delta P$ は概略、 $\Delta P = (K/V) \times Q$ で表される。ここで、Kは燃料の体積弾性係数、Vはコモンレールの内容積である。すなわち、同一の量の燃料をコモンレールに供給した場合であってもコモンレール内燃料圧力の上昇幅は体積弾性係数の値に応じて変化することになる。

【0006】通常、圧力に対する燃料の体積弾性係数の変化率は比較的小さいため運転中のコモンレール内圧力の変化範囲が大きい場合には体積弾性係数を略一定値と見なすことができ、上記公報の装置の制御を行っても大きな問題は生じない。ところが、コモンレール式燃料噴射装置ではコモンレール燃料圧力によって燃料噴射弁の噴射率を積極的に制御しているため機関運転中のコモンレール圧力変化範囲を極めて大きく設定したものがあり、運転中のコモンレール燃料圧力が10MPa程度から150MPa程度まで変化するものも使用されている。

【0007】このようにコモンレール燃料圧力が極めて大きな範囲で変化するような場合には体積弾性係数もそれに応じて大きく変化する。このため、例えば制御ゲインを低圧時に適した値に設定していると、コモンレール燃料圧力が高圧になった場合には体積弾性係数係数が大幅に増大するため燃料供給によるコモンレール燃料圧力の変動が大きくなり、フィードバック制御により圧力変動が増幅されてハンチングを生じてしまうのである。このように、コモンレール圧力のハンチングが生じると燃料噴射弁の噴射（開弁）時間が同一であっても実際に噴射される燃料量と噴射率とは圧力に応じて変動してしまう。このため、コモンレール燃料圧力のハンチングが生じると機関出力の変動や排気性状の悪化が生じることになる。

【0008】本発明は上記問題に鑑み、体積弾性係数を考慮してコモンレール燃料圧力制御を行うことにより、コモンレール燃料圧力が広い範囲で変化しても正確かつ安定した燃料圧力制御を行うことができる内燃機関の燃料噴射装置を提供することを目的としている。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明によれば、加圧燃料を貯留する蓄圧室と、該蓄圧室内の燃料を内燃機関に噴射する燃料噴射弁と、前記蓄圧室に燃料を供給する燃料ポンプと、前記蓄圧室内の実際の燃料圧力が予め定めた目標圧力になるように燃料ポンプから蓄圧室への燃料供給量を設定する制御手段とを備えた内燃機関の燃料噴射装置において、前記制御手段は、前記燃料供給量を、蓄圧室内の実際の燃料圧力と前記目標圧力との偏差に比例係数を乗じた比例量成分を含む量として設定するとともに、前記比例係数を蓄圧室内の実際の燃料圧力に応じて変化させることを特徴とする内燃機関の燃料噴射装置が提供される。

【0010】すなわち、請求項1の発明では蓄圧室への燃料供給量のうち、実際の燃料圧力と目標圧力との偏差に比例する比例量成分の大きさを決定する比例係数が燃料圧力に応じて決定される。このため、例えば体積弾性係数の増大により蓄圧室燃料圧力の変動が大きくなりやすい高圧時には比例係数を小さく設定してハンチングを防止するとともに、体積弾性係数の減少により燃料圧力制御の応答性が低下しやすい低圧時には比例係数を大きく設定して制御応答性を向上させることが可能となる。

【0011】請求項2に記載の発明によれば、前記制御手段は、実際の燃料圧力に応じて設定した前記比例係数を、更に燃料温度、ポンプの燃料圧送能力、機関回転数のいずれか一つ以上に基づいて補正し、補正後の比例係数を用いて前記比例量成分を設定する請求項1に記載の内燃機関の燃料噴射装置が提供される。すなわち、燃料ポンプから実際に蓄圧室に供給される燃料流量は燃料の粘度やポンプの燃料圧送能力の変化により影響を受ける。例えば燃料温度が高く燃料の粘度が低下している場合には燃料ポンプ等の接液部品クリアランス部からのリーク量が大きくなるため蓄圧室に供給される燃料流量は相対的に低下する。また、燃料ポンプの圧送能力（効率）は回転数や製品毎の公差により変化するため蓄圧室に供給される燃料流量は燃料温度やポンプ回転数等、あるいは個体間のばらつきにより変化する。請求項2に記載の発明では、前記比例係数を燃料圧力（体積弾性係数）のみでなく燃料温度、ポンプ圧送能力などに応じて更に補正することにより、請求項1の作用に加えて、機関運転条件や製品毎のばらつきによる燃料ポンプからの実際の燃料供給量の変化があった場合でも燃料圧力制御を正確に制御することが可能となる。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を用いて本発明の実施形態について説明する。図1は、本発明の燃料噴射装置を自動車用ディーゼル機関に適用した場合の実施形態の概略構成を示す図である。図1において、1は内燃機関10（本実施形態では4気筒ディーゼル機関）の各気筒内に燃料を直接噴射する燃料噴射弁、3は各燃料噴射弁1が接続される共通の蓄圧室（コモンレール）を示す。

す。コモンレール3は、後述する高圧燃料噴射ポンプ5から供給される加圧燃料を貯留し、各燃料噴射弁1に分配する機能を有する。

【0013】また、図1において7は機関10の燃料（本実施形態では軽油）を貯留する燃料タンク、9は高圧燃料ポンプ5に燃料を供給する低压フィードポンプを示している。機関運転中、タンク7内の燃料は、フィードポンプ9により一定圧力に昇圧され、高圧燃料噴射ポンプ5に供給される。また、高圧燃料噴射ポンプ5から吐出された燃料は、逆止弁15、高圧配管17を通過してコモンレール3に供給され、更にコモンレール3から各燃料噴射弁1を介して内燃機関の各気筒内に噴射される。

【0014】図1に20で示すのは、機関の制御を行うエンジン制御回路（ECU）である。ECU20は、リードオンリメモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、マイクロプロセッサ（CPU）、入出力ポートを双方向バスで接続した公知の構成のデジタルコンピュータとして構成され、更にメインスイッチがオフにされている間も記憶内容を保持可能なバックアップRAMを備えている。

【0015】ECU20は、後述するように高圧燃料噴射ポンプ5の吸入弁5aの開閉動作を制御してコモンレール3内の燃料油圧力を機関負荷、回転数等に応じて定まる圧力に保持する燃料圧力制御を行う。また、ECU20は燃料噴射弁1の開弁時間を制御して気筒内に噴射される燃料量を制御する燃料噴射量制御を行う。すなわち、本実施形態では燃料噴射弁1の噴射率はコモンレール燃料圧力により制御され、燃料噴射量はコモンレール圧力と燃料噴射弁1の開弁時間とにより制御される。

【0016】上記制御のため、ECU20の入力ポートには、コモンレール3に設けた燃料圧力センサ31と燃料温度センサ33とから、それぞれコモンレール3内の燃料圧力と燃料温度とに対応する電圧信号がAD変換器34を介して入力されている他、機関アクセルペダル（図示せず）に設けたアクセル開度センサ35からアクセルペダルの操作量（踏み込み量）に対応する信号が同様にAD変換器34を介して入力されている。更に、ECU20の入力ポートには、機関のクランク軸（図示せず）に設けたクランク角センサ37から、クランク軸一定回転角毎に発生するクランク回転角パルス信号と、クランク軸が基準回転位置（たとえば機関の第1気筒の圧縮上死点）に到達する毎に発生する基準パルス信号とが入力されている。

【0017】また、ECU20の出力ポートは、駆動回路40を介して燃料噴射弁1に接続され、各燃料噴射弁1の作動を制御している他、駆動回路40を介して高圧燃料噴射ポンプ5の吸入弁5aの開閉を制御するソレノイドアクチュエータに接続され、ポンプ5の吐出量を制御している。本実施形態では、高圧燃料噴射ポンプ5は

2つのシリンダを有するピストンポンプの形式とされている。ポンプ5の各シリンダ内のピストンは、ピストン駆動軸に形成されたカムに押圧されてシリンダ内を往復運動する。また、各シリンダの吸入ポートには、ソレノイドアクチュエータにより開閉駆動される吸入弁が設けられている。本実施形態ではピストン駆動軸は機関10のクランク軸（図示せず）により駆動され、クランク軸と同期してクランク軸の2分の1の速度で回転する。また、ポンプ5のピストン駆動軸には、それぞれのピストンと係合する部分に2つのリフト部を持つカムが形成されており、ポンプ5のピストンは機関10の各気筒のストロークに同期して燃料を吐出するようになっている。すなわち、本実施形態では4気筒ディーゼル機関が使用されているため、ポンプ5の2つのシリンダはクランク軸が720度回転する間にそれぞれ2回ずつ機関の気筒のストロークに同期して（例えば各気筒の排気行程毎に）コモンレール3に燃料を圧送する。

【0018】また、ECU20はポンプの各シリンダのピストンの上昇（圧送）行程における吸入弁5aの開弁時期を変化させることによりポンプからコモンレール3に圧送される燃料量を制御する。すなわち、ECU20は、各シリンダのピストン下降行程（吸入行程）の間、及びピストン上昇行程（吐出行程）開始後所定の期間ソレノイドアクチュエータへの通電を停止して吸入弁5aを開弁状態に維持する。これにより、各シリンダでピストンが吐出行程に入ってもシリンダ内の燃料は吸入弁5aからタンクに逆流しシリンダ内の燃料圧力は上昇しない。そして、上記期間経過後ECU20は吸入弁5aのソレノイドアクチュエータに通電して吸入弁5aを開弁する。これによりポンプピストンの上昇に伴いシリンダ内の圧力が上昇し、シリンダ内圧力がコモンレール3内の圧力より高くなると各シリンダの逆止弁15が開弁し、シリンダ内の高圧の燃料油が高圧配管17を経由してコモンレール3に圧送される。すなわち、ECU20はポンプ5の各シリンダの吸入弁5aの開弁タイミングを調節することにより、ポンプ5のピストン有効ストロークを変化させコモンレール3に圧送する燃料量を制御している。

【0019】本実施形態では、ECU20は機関負荷、回転数に応じて予めROMに格納した関係に基づいて燃料噴射弁1の開弁時間（燃料噴射時間）を制御する。また、ECU20は機関負荷、回転数に応じて予めROMに格納した関係に基づいて目標コモンレール燃料圧力を設定するとともに、燃料圧力センサ31で検出したコモンレール燃料圧力が目標コモンレール燃料圧力に一致するようにポンプ5の吐出量を制御する燃料圧制御を行う。本実施形態の燃料圧制御については後に詳述する。

【0020】本実施形態の燃料噴射装置ではコモンレール3の燃料圧力を機関運転条件に応じて変化させることにより、燃料噴射弁1の噴射率を運転条件に応じて調節

し、また、燃料圧力と燃料噴射時間とを機関運転条件に応じて変化させることにより燃料噴射量を調節している。このため、本実施形態のコモンレール式燃料噴射装置では、機関の各運転条件に応じた最適な噴射率と噴射量とで燃料噴射が行われ、燃焼騒音、振動等を抑制しつつ燃料消費率と排気エミッションとが同時に低減される。上記のように各運転条件に最適な噴射率と噴射量とを達成するため、本実施形態のコモンレール式燃料噴射装置では、コモンレール内の燃料圧力は機関の運転条件（負荷、回転数）に応じて極めて広い範囲で（例えば、10MPaから150MPa程度までの範囲で）変化させる必要があり、コモンレール燃料圧力を応答性良く高精度に制御する燃料圧力制御が必要とされる。

【0021】次に、本実施形態における燃料圧力制御について説明する。本実施形態では、燃料ポンプ5からコモンレール3への燃料供給量、すなわち吸入弁5aの開弁タイミングTF（クランク角）は以下の式で与えられる。 $TF = TFBASE - TFD + TFBK$ なお、本実施形態ではTFの値は大きくなるほど吸入弁の開弁タイミングは遅角されコモンレール3への燃料供給量は減少する。

【0022】上記の式においてTFBASEは基本圧送量（フィードフォワード量）、TFDは吸入弁開弁遅れ時間補正のための進角量、TFBKはフィードバック量を示している。ここで、TFBASEは目標コモンレール燃料圧力PFINと燃料噴射量指令値とに応じて定められる燃料圧送量であり、コモンレール燃料圧力を概略目標圧力近傍にするのに必要な燃料圧送量を表している。前述のように、本実施形態では目標燃料圧力PFINと燃料噴射量指令値とはECU20により別途実行されるルーチン（図示せず）により機関運転条件（アクセル開度と機関回転数と）に応じて設定される。フィードフォワード量TFBASEは予め目標圧力と燃料噴射量指令値との各組合せについて適宜設定し、予めECU20のROMに目標圧力PFINと燃料噴射量指令量とを用いた数値マップとして格納されており、設定された目標圧力PFINと燃料噴射量指令値とに基づいてこのマップから読み出される。

【0023】TFDは、吸入弁5aに対して開弁信号を出力してから実際に吸入弁5aが開弁するまでの時間に相当するクランク回転角である。すなわち、本実施形態では吸入弁5aの作動遅れ時間分だけ吸入弁5aへの開弁信号出力タイミングを進角させている。遅れ時間補正のための進角量TFDは、バッテリー電圧が低いほど（吸入弁5aの駆動ソレノイドの駆動力が低下するほど）、また機関回転速度が早いほど大きな値に設定される。

【0024】また、フィードバック量TFBKは燃料圧力センサ31で検出した実際のコモンレール燃料圧力PCと目標燃料圧力PFINとの偏差 $\Delta PC (= PC - PFIN)$ に応じて以下の式で算出される。

$$TFBK = BKP + BKI$$

ここで、BKPは比例項を表し比例係数 $\alpha$ と偏差 $\Delta PC$ との積 $\alpha \times \Delta PC$ で与えられ、BKIは積分項を表し後述するように $\Delta PC$ の値に応じて一定量ずつ増減する値とされる。

【0025】すなわち、本実施形態では燃料ポンプ5からコモンレール3への燃料供給量(TF)は、マップから読みだされるフィードフォワード量TFBASEによりコモンレール燃料圧力が略目標値PFINになるように粗調整され、フィードバック量TFBKによりコモンレール燃料圧力が正確に目標値に一致するように比例積分制御により微調整される。これにより、本実施形態では応答性良くかつ正確にコモンレール燃料圧力PCが目標値PFINに収束する。

【0026】ところで、上述のように本実施形態では燃料供給量(TF)は、実際のコモンレール圧力PCと目標燃料圧力PFINとの偏差 $\Delta PC$ に比例する量の成分(つまりフィードバック比例項BKP)を含むことになるが、この比例項 $BKP = \alpha \times \Delta PC$ の比例係数(ゲイン) $\alpha$ の大きさは燃料圧力制御の安定性に大きな影響を与える。

【0027】いま、燃料供給量TFのうち比例項BKPのコモンレール圧力変動に与える影響について考える。比例項BKPを実際の燃料量に換算した値をQBKP

(比例量成分)とすると、比例量成分のみにより生じるコモンレール圧力変化 $\Delta P$ は、

$$\Delta P = (K/V) \times QBKP$$

で表される。また、QBKPは、 $QBKP = C \times \alpha \times \Delta PC$ (Cは定数)として表されるため、結局 $\Delta P$ は、 $\Delta P = D \times K \times \alpha \times \Delta PC$ として表される(D=C/V:定数)。

【0028】ところで、燃料の体積弾性係数Kは燃料圧力に応じて変化する。図2はディーゼル燃料(軽油)の体積弾性係数Kの圧力による変化の様子を示しており、図2に示すように軽油の体積弾性係数Kは略圧力に比例して増大する。また、圧力に対する体積弾性係数Kの変化は比較的小さいが、本実施形態のようにコモンレール燃料圧力が極めて大きな範囲(例えば10から150MPa程度の範囲)で変化するような場合にはそれに応じて体積弾性係数Kも大きな範囲で変化するようになる。

【0029】このため、上記比例係数 $\alpha$ の値を一定値に固定しているとコモンレール内の燃料圧力が高圧になるとKの値が大きくなるため、燃料圧力と目標圧力との偏差 $\Delta PC$ が小さい場合でも燃料供給量の比例量成分によるコモンレール圧力変化 $\Delta P$ が大きくなってしまい全体としての制御ゲイン( $K \times \alpha$ )が過大となりコモンレール圧力にハンチングを生じるようになる。一方、これを防止するために燃料圧力が高圧の場合にもハンチングを生じないように比例係数 $\alpha$ を小さな値に設定してしまうと、コモンレール圧力が低い場合には体積弾性係数Kの

減少により全体としての制御ゲイン( $K \times \alpha$ )が過度に小さくなり燃料圧力制御の応答性が低下してしまうことになる。

【0030】そこで、本実施形態では体積弾性係数Kの変化に応じて比例係数 $\alpha$ を変化させ、制御ゲイン( $K \times \alpha$ )がコモンレールの全圧力範囲で略一定値になるようにすることにより、コモンレールの全圧力範囲で制御の応答性と安定性との両方を維持するようにしている。図3は、本実施形態における比例係数 $\alpha$ の設定とそれによる制御ゲイン( $K \times \alpha$ )とのコモンレール燃料圧力による変化を概略的に示した図である。

【0031】図3において、点線Iは圧力にかかわらず比例係数 $\alpha$ を一定値とした場合を、実線IIは本実施形態の比例係数 $\alpha$ の設定を示している。前述したように体積弾性係数Kは燃料圧力が増大するにつれて大きな値になるため、比例係数 $\alpha$ を体積弾性係数Kの変化にかかわらず一定値に設定していると(点線I)、比例項BKPの全体としての制御ゲイン( $K \times \alpha$ )は燃料圧力が大きくなるにつれて増大してしまう(点線III)。これを防止するため、本実施形態では実線IIに示すように比例係数 $\alpha$ の値を燃料圧力が増大するにつれて小さく設定している。これにより、燃料圧力が増大して体積弾性係数Kの値が大きくなった場合でも実線IVに示すように比例項BKPのゲインは略一定になり、燃料圧力にかかわらず略一定の制御応答性と安定性を得ることができる。

【0032】図4は、本実施形態の比例係数 $\alpha$ の実際の設定を示す図である。本実施形態では、上記のようにコモンレールの略全圧力領域で制御ゲイン $K \times \alpha$ が略一定になるようにコモンレール圧力PCに応じて比例係数 $\alpha$ の値を以下の式で算出するようにしている。

$$\alpha(PC) = V / (K(PC) \times dQ)$$

ここで、 $K(PC)$ はコモンレール圧力がPCのときの燃料体積弾性係数、 $\alpha(PC)$ はコモンレール圧力PCにおける比例係数の値である。また、Vはコモンレール内容積、dQは送油率(単位回転角度当りにポンプがコモンレールに圧送する燃料油量)を表している。

【0033】また、上記の式で比例係数 $\alpha$ の値を設定した場合にはコモンレール圧力が低い領域での $\alpha$ の値が大きくなり増大することになる。このため、本実施形態では、特にコモンレール圧力が低い場合の安定性を増大させるために $\alpha$ の値を最大値 $\alpha_{MAX}$ で制限するようにしている。

本実施形態では、予め式により各圧力における比例係数 $\alpha(PC)$ の値を算出して、コモンレール圧力PCを用いた数値マップの形でECU20のROMに格納しており、燃料圧力センサ31で検出したコモンレール燃料圧力PCの値を用いてこのマップから比例係数 $\alpha(PC)$ の値を決定するようにしている。

【0034】図5は上記に説明した本実施形態の燃料圧力制御動作を示すフローチャートである。本制御動作は

ECU20により一定時間毎（または一定クランク回転角毎）に実行されるルーチンにより行われる。図5においてルーチンがスタートすると、ステップ501では機関アクセル開度ACC、回転数NE、コモンレール燃料圧力PCが、それぞれ対応するセンサから読み込まれ、更にバッテリー電圧VBが電圧センサ（図示せず）から読み込まれる。そして、ステップ503では、別途実行される燃料噴射量演算ルーチンと燃料圧力演算ルーチン（図示せず）により機関負荷（アクセル開度）と機関回転数とに基づいて算出された目標燃料圧力PFINと燃料噴射量指令値TAUとが読み込まれる。

【0035】次いで、ステップ505では機関回転数NEとバッテリー電圧VBとに基づいて予め定めた関係から現在の吸入弁作動遅れ時間に相当するクランク回転角（遅れ時間補正進角量）TFDが算出され、更にステップ507では目標燃料圧力PFINと燃料噴射量指令値TAUとを用いてECU20のROMに格納したマップから、フィードフォワード量TFBASEが算出される。

【0036】そして、ステップ509では現在の実際のコモンレール燃料圧力PCと目標燃料圧力PFINとの偏差 $\Delta PC$ が、 $\Delta PC = PC - PFIN$ として算出され、ステップ511とステップ513とではこの $\Delta PC$ の値に基づいてフィードバック量の比例項BKPと積分項BKIとがそれぞれ算出される。図6は、図5ステップ511で実行される比例項BKP算出サブルーチンを示すフローチャートである。図6、ステップ601では図5ステップ501で読み込んだ実際のコモンレール燃料圧力PCを用いて、予め設定した図4の関係に基づいて比例係数 $\alpha(PC)$ の値を決定し、ステップ603ではこの $\alpha(PC)$ の値と図5ステップ509で算出した偏差 $\Delta PC$ の値とを用いてフィードバック比例項BKPが、 $BKP = \alpha(PC) \times \Delta PC$ として算出した後サブルーチンを終了する。

【0037】図7は、図5ステップ513で実行される積分項BKI算出サブルーチンを示すフローチャートである。図7のサブルーチンでは、図5ステップ509で算出した偏差 $\Delta PC$ の値に応じて積分項BKIの値を前回ルーチン実行時の値に較べて以下に説明するように増減する操作を行う。本実施形態では偏差 $\Delta PC$ の絶対値が所定値 $\Delta P_1$ 以上であった場合、つまり実際のコモンレール圧力PCが目標値PFINから大きく離れている場合（ステップ701で $|\Delta PC| \geq \Delta P_1$ ）には積分項BKIの値を0に設定する（ステップ703）。これは、本実施形態では積分項BKIは例えば燃料ポンプ5や燃料噴射弁の個体差による特性のばらつきなどによるコモンレール燃料圧力の目標値からの定常的なずれを補正するためにのみ用いるようにしており、機関運転状態の変化により生じる比較的大きな圧力変動は比例項により収束させるためである。

【0038】また、偏差 $\Delta PC$ が比較的小さい場合（ $|\Delta PC| < \Delta P_1$ ）には、偏差の符号に応じて一定量 $\Delta I_0$ ずつBKIの値を前回ルーチン実行時に較べて増減する。例えば偏差 $\Delta PC$ が正（ステップ705で $0 < \Delta PC < \Delta P_1$ ）の場合、すなわち実際のコモンレール燃料圧力PCが目標燃料圧力PFINより高い場合には、燃料供給量を減少させるために積分項BKIは前回の値に較べて $\Delta I_0$ だけ増大（閉弁タイミングTFが遅角）され（ステップ707）、偏差 $\Delta PC$ が負（ステップ709で $\Delta P_1 < \Delta PC < 0$ ）の場合、すなわち実際のコモンレール燃料圧力PCが目標燃料圧力PFINより低い場合には、燃料供給量を増大させるために積分項BKIは前回の値に較べて $\Delta I_0$ だけ低減（閉弁タイミングTFが進角）される（ステップ711）。そして、ステップ709で否定判定された場合（すなわち、 $\Delta PC = 0$ の場合）にはBKIの値は変更せず、前回ルーチン実行時の値のままに保持される。

【0039】これにより、 $|\Delta PC| < \Delta P_1$ の大きさの小さな定常的偏差が生じた場合でも積分項BKIの値が偏差を0にするように設定されることになり、コモンレール圧力が正確に目標圧力に収束するようになる。上記サブルーチンにより図5ステップ511と513とで比例項BKPと積分項BKIとを算出した後、ステップ515ではフィードバック量TFBKが、 $TFBK = BKP + BKI$ として算出され、ステップ517では最終的な燃料供給量（吸入弁5aの開弁信号出力タイミング）TFがフィードフォワード量TFBASEとフィードバック量TFBKとの和として算出される。

【0040】本ルーチンにより閉弁タイミングTFが算出されると、別途ECU20により実行される図示しない燃料ポンプ制御ルーチンではクランク軸回転角がTFに一致する毎に燃料ポンプ5の吸入弁5aを開弁してコモンレール3への燃料圧送を行う。上述のように、本実施形態によればコモンレール3への燃料供給量のうち、実際の燃料圧力と目標圧力との偏差に比例する比例量成分を算出するための比例係数が燃料圧力に応じて設定されるため、燃料圧力が変動して体積弾性係数の値が大きく変化した場合であっても常に制御ゲインが適切な値に設定される。このため、コモンレール燃料圧力の全範囲にわたって制御応答性を良好に保ちながら制御の安定性を向上させることができる。

【0041】次に、本発明の別の実施形態について説明する。上述の実施形態では、比例項BKPの比例係数 $\alpha$ をコモンレール内の実際の燃料圧力に応じて設定することにより、体積弾性係数Kの圧力による変化を補償している。しかし、比例係数 $\alpha$ を体積弾性係数のみでなく他の条件に応じて補正するようにすることにより更に正確な燃料圧力制御を行うことが可能となる。

【0042】すなわち、燃料供給量指令値TFは燃料ポンプの吸入弁5aの開弁時期を制御するのみであるの



で、TFが同一であっても実際の燃料供給量は種々の条件によって変化する。例えば、燃料温度が高くなると燃料の動粘度が低下するため接液部のクリアランス部分からリークする燃料量が増加し、指令値TFが同一であっても実際の燃料供給量は低下する。この場合には燃料温度に応じて比例係数 $\alpha$ の値を補正し、温度が高いほど比例量成分BKPを増大することにより温度上昇による実際の燃料供給量低下を補償することができる。また、ポンプ回転数（機関回転数）が低い場合には、ポンプの1圧送サイクルの時間が長くなるため1サイクル当たりの上記リーク燃料量は増加する。従って、ポンプ回転数が低い場合にはTFが同一であっても回転数が高い場合に較べて実際の燃料供給量は低下することになる。しかし、この場合にも比例係数 $\alpha$ の値をポンプ回転数が低い程大きくするように補正することにより回転数による実際の燃料供給量の変動を補償することが可能である。

【0043】図8は、上記補正を行った場合の比例項算出サブルーチンを示すフローチャートである。図8のサブルーチンは、図5のルーチンのステップ511で図6のサブルーチンに代えて実行される。図8のサブルーチンでは、ステップ801で図6ステップ601と同様にコモンレール圧力PCから比例係数 $\alpha(PC)$ を算出後、ステップ803ではコモンレール燃料温度TCを燃料温度センサ33から読み込み、ステップ805では比例係数の燃料温度補正係数BTを燃料温度TCに応じて設定する。図9は、本実施形態における温度補正係数BTの設定を示す。図9に示すように本実施形態では燃料温度が高いほど温度補正係数BTが大きな値に設定される。

【0044】また、ステップ807では、図5ステップ501で読み込んだ機関回転数NEから回転数補正係数BNが設定される。図10は、本実施形態における回転数補正係数BNの設定を示す図である。図10に示すように、回転数補正係数BNは回転数NEが低いほど大きな値に設定される。上記により補正係数BTとBNとを算出後、ステップ809では比例係数 $\alpha(PC)$ の値がBTとBNとを用いて補正され、補正後の比例係数 $\alpha$ が、 $\alpha = \alpha(PC) \times BN \times BT$ として算出され、ステップ811ではこの補正後の比例係数 $\alpha$ を用いて比例項BKPが、 $BKP = \alpha \times \Delta PC$ として算出される。

【0045】このように、本実施形態では燃料温度、機関回転数等に応じて更に比例項の比例係数の値を補正することにより、燃料温度、機関回転数等の変化による実際の燃料供給量の変動を補正して一層正確な燃料圧力制御を行うことが可能となっている。なお、図8の実施形態では燃料温度と機関回転数との両方に応じて比例係数を補正しているが、燃料温度または機関回転数のいずれか一方のみにより比例係数を補正するようにすることもできるのは言うまでもない。

【0046】また、図6の実施形態では積分項BKIは燃料ポンプの圧送能力の個体差や経年変化等を補償する

ために用いているが、積分項BKIの値に応じて比例項の比例係数 $\alpha$ を学習補正することにより、ポンプ圧送能力の個体差を比例項の比例係数を用いて補償することも可能である。この場合、例えば機関が定常状態で運転されているときに（すなわち、コモンレール圧力変動が小さいときに）図8のサブルーチンで算出した補正後の比例係数 $\alpha$ の値を積分項BKIの値が0になるようにルーチン実行毎に一定量ずつ増減するようにすればよい。

10 【0047】例えば、学習補正係数Gを用いて、比例係数 $\alpha$ を $(\alpha \times G)$ の形で補正し、BKIが正の値（閉弁タイミングTFを遅角させる方向）の場合には図5のルーチン実行毎にGの値を一定量低減し、BKIが負の値（閉弁タイミングTFを進角させる方向）の場合にはルーチン実行毎にGの値を一定量ずつ増大するようにすればよい。また、上記により設定した学習補正係数Gの値をECU20のバックアップRAMに記憶するようにすれば、機関始動時から燃料ポンプ圧送能力の個体差を補償した正確な燃料圧力制御が可能となる。

20 【0048】

【発明の効果】各請求項に記載の発明によれば、燃料供給量のうちの比例量成分を算出するための比例係数の値を燃料圧力に応じて設定するようにしたことにより、蓄圧室内の燃料圧力が広い範囲で変化するような場合にも、応答性と安定性との両方が良好な燃料圧力制御を行うことを可能とする共通の効果を奏する。

【0049】また、請求項2に記載の発明によれば、更に燃料温度、機関回転数、燃料ポンプ圧送能力に応じて上記比例係数を補正するようにしたことにより、上記共通の効果に加えて、更に正確な燃料圧力制御が可能となる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の燃料噴射装置の一実施形態の概略構成を示す図である。

【図2】圧力による軽油の体積弾性係数変化の概略傾向を説明する図である。

【図3】本発明の原理を説明するグラフである。

【図4】図1の実施形態の比例係数の設定を示す図である。

40 【図5】図1の実施形態の燃料圧力制御の一実施形態を説明するフローチャートである。

【図6】図5のフローチャートの比例項算出サブルーチンを説明するフローチャートである。

【図7】図5のフローチャートの積分項算出サブルーチンを説明するフローチャートである。

【図8】比例項算出サブルーチンの、図6とは別の実施形態を説明するフローチャートである。

【図9】図8のサブルーチンにより設定される温度補正係数の値を示すグラフである。

50 【図10】図8のサブルーチンにより設定される回転数

補正係数の値を示すグラフである。

【符号の説明】

1…燃料噴射弁

3…蓄圧室（コモンレール）

5…燃料噴射ポンプ

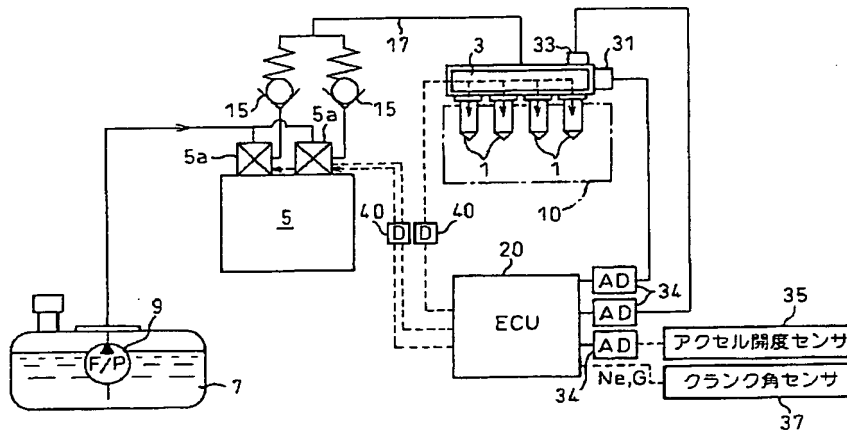
10…内燃機関

20…制御回路（ECU）

31…燃料圧力センサ

33…燃料温度センサ

【図1】



1…燃料噴射弁

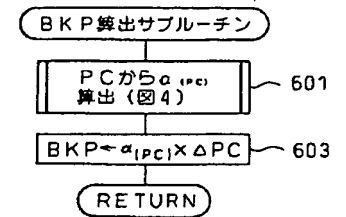
3…コモンレール

5…高圧燃料噴射ポンプ

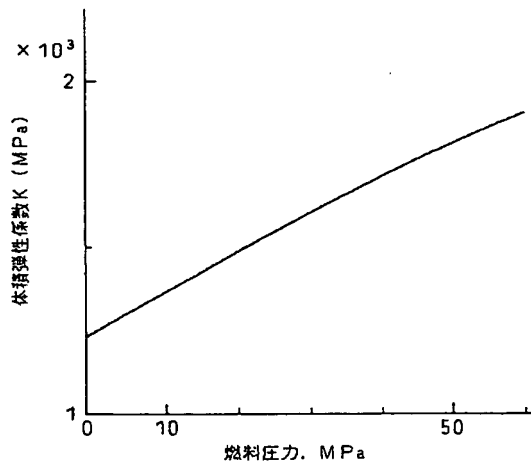
20…ECU

31…燃料圧力センサ

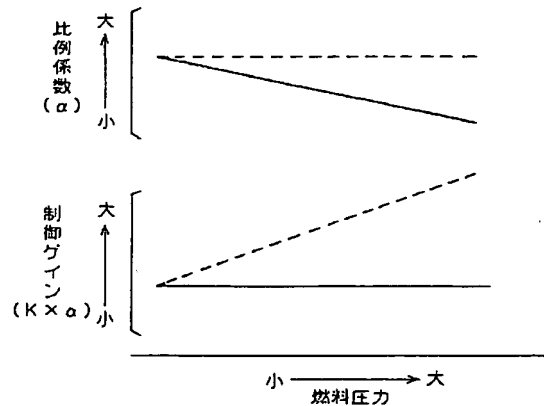
【図6】



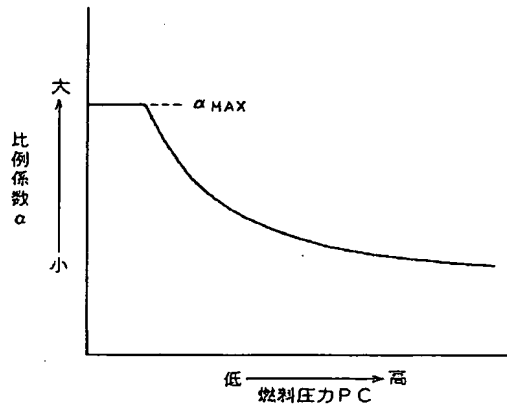
【図2】



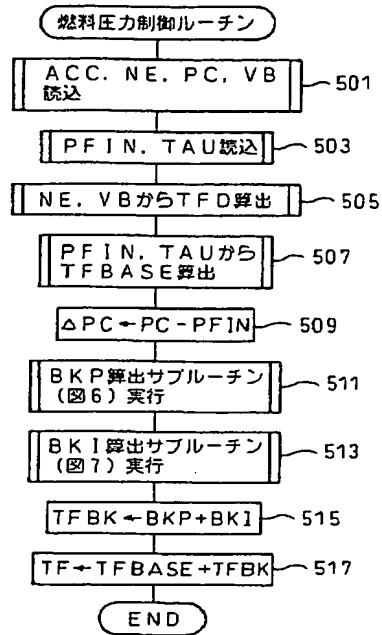
【図3】



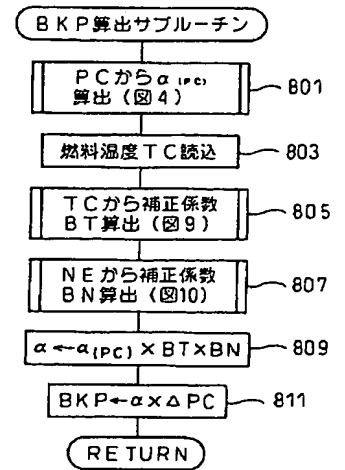
【図4】



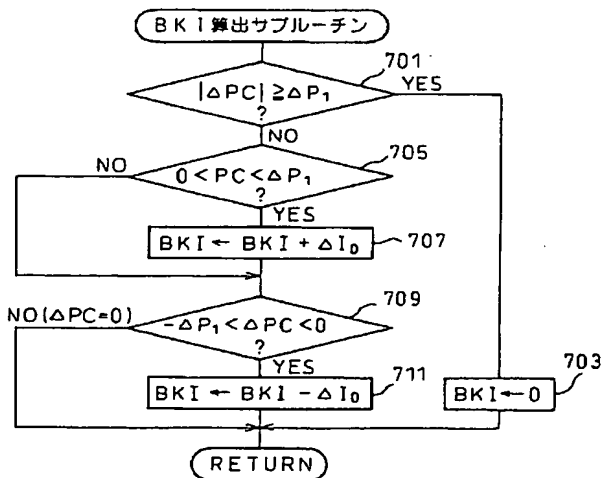
【図5】



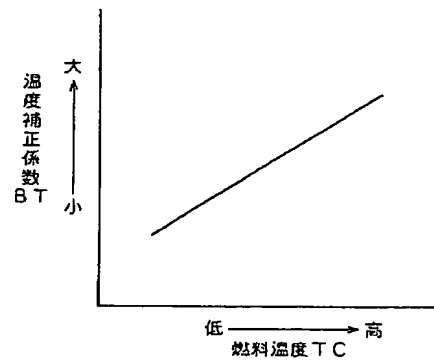
【図8】



【図7】



【図9】



【図10】

